

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Doprava paliva

Transportation of the Fuel

Student:

Adam Selvek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Jablonská, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Selvek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Doprava paliva**
Transportation of the Fuel

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši současného stavu palivových soustav osobních a závodních automobilů.
2. Definujte prvky palivového systému.
3. Navrhněte palivovou soustavu v závislosti na pravidlech Formule SEA.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1]NOSKIEVIČ, J.: *Mechanika tekutin*. Praha. SNTL Praha, 1987. 354 s.
- [2]PRAVIDLA FORMULE SEA
- [3]VLK F.: *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [4]VLK F.: *Vozidlové spalovací motory*. Brno, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [5]FERENC B.: *Spalovací motory: karburátory a vstřikování paliv*. Computer Press: Praha, 2004. ISBN 80-251-0207-6.
- [6]KOPÁČEK, J.: *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. VŠB-TU Ostrava, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.
- [7]ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [8]ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Jablonská, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. května 2014


.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucí bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. května 2014



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adam Selvek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Skřipov 221

Skřipov, 747 45

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SELVEK, Adam. *Doprava paliva: bakalářské práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2014, 44 s. Vedoucí práce: Jablonská, J.

Bakalářská práce se zabývá dopravou paliva u vozidel se zážehovým motorem. Je součástí projektu „Formula Student“, kde bylo požadavkem řešit problematiku palivové soustavy. Součástí je rešerše, ve které je popsána palivová soustava jednostopých a dvoustopých vozidel. Jsou zde uvedeny druhy palivových soustav a rozdíly mezi nimi. Dále jsou popsány jednotlivé komponenty palivové soustavy a jejich hlavní funkce. Palivové soustavě jednostopých vozidel je věnována pozornost z důvodu, že použitý motor na studentské formuli pochází z motocyklu Yamaha FZ6. Dále se v práci zabývám návrhem palivové soustavy a jednotlivých komponentů, které jsou uvedeny v 3D modelu z důvodu aplikování do celkové sestavy studentské formule.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SELVEK, Adam. *Transportation of the fuel: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of hydromechanics and hydraulic, 2014, 44 p. Thesis head: Jablonská, J.

This Bachelor's Thesis describes the transporting of the fuel in cars with petrol engines. The main goal of this thesis was analyzing and designing a proper fuel system for “Formula Student” project. Research, as a part of this thesis, describes in detail the fuel system for one- and two-wheeled vehicles. All kinds of fuel systems and their differences are given there. All components, their features and benefits for whole fuel system are described as well. I also deal with designing appropriate 3D models of fuel system for student's formula. The entire fuel system had to be optimized for Yamaha FZ6 motorcycle engine and placed to the limited space of vehicle frame.

OBSAH

1.	PALIVOVÁ SOUSTAVA ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ	9
1.1.	PALIVOVÁ SOUSTAVA S KARBURÁTOREM.....	9
1.2.	PALIVOVÉ SOUSTAVY S VSTŘIKOVÁNÍM PALIVA	10
2.	SYSTÉM PŘÍMÉHO VSTŘIKOVÁNÍ	15
2.1.	KOMPONENTY SYSTÉMU	16
3.	SPALOVACÍ PROSTOR PRO VSTŘIKOVÁNÍ BENZINU.....	24
3.1.	VRSTVENÉ PLNĚNÍ PALIVA.....	24
3.2.	HOMOGENNÍ PLNĚNÍ PALIVA.....	27
4.	PALIVOVÁ SOUSTAVA ZÁVODNÍCH AUTOMOBILŮ	28
5.	BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY.....	30
6.	PRAVIDLA FORMULA SAE INTERNATIONAL	31
7.	POHYB KAPALINY V NÁDRŽI.....	32
8.	SAMOTNÁ REALIZACE STUDENTSKÉ FORMULE.....	35

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Re	[-]	Reynoldsovo číslo
ν	[m ² /s]	Kinematická viskozita
η	[Pa·s]	Dynamická viskozita
d	[m]	Průměr potrubí
Q	[m ³ /s]	Objemový průtok
S	[m ²]	Průřez potrubí
v	[m/s]	Rychlost proudění kapaliny
k	[l/100km]	Spotřeba paliva
s	[m]	Ujetá vzdálenost
V	[m ³]	Objem
ρ	[kg/m ³]	Hustota kapaliny
m	[kg]	Hmotnost
a	[m/s ²]	Zrychlení
G	[N]	Tíhová síla
F _o	[N]	Odstředivá síla
O _a	[N]	Odpor setrvačnosti
O _v	[N]	Odpor vzduchu

ÚVOD

Bakalářské práce obsahuje teoretickou část, a to dnešní principy fungování motoru, jednotlivé komponenty palivové soustavy a ukázky vstřikování paliva. Praktická část bude obsahovat samotný návrh palivové soustavy studentské formule dle pravidel SAE.

V úvodní kapitole jsou popsány jednotlivé principy fungování zážehových motorů, jako jsou karburátorové. Dále motory s přímým a nepřímým vstřikování benzínu, kde jsou rozepsány jejich hlavní výhody a nevýhody.

Druhá kapitola se zabývá detailněji přímému vstřikování paliva v zážehovém motoru. Jsou popsány jednotlivé komponenty palivové soustavy, jejich princip fungování a hlavní funkce.

Třetí kapitola popisuje spalovací prostor pro vstřikování benzínu a jeho metody (vrstvené plnění, homogenní plnění).

Ve čtvrté kapitole je ve zkratce definována palivová soustava závodních automobilů, její odlišnosti ve vstřikování paliva od automobilů pro běžnou populaci.

Pátá kapitola se zaměřuje na bezpečnostní požadavky, které musí splňovat palivová soustava i samotná posádka.

V šesté kapitole jsou uvedeny konkrétní pravidla Formule SAE International, pro rok 2013/2014, uvedená k problematice palivové soustavy.

Sedmá kapitola se věnuje problematice chování kapaliny v nádrži při akceleraci, brzdění a průjezdem zatáčkou. A dále její vliv na jízdní vlastnosti vozidla a bezpečnost.

V poslední, osmé kapitole je popsána realizace palivové soustavy na studentské formuli VŠB.

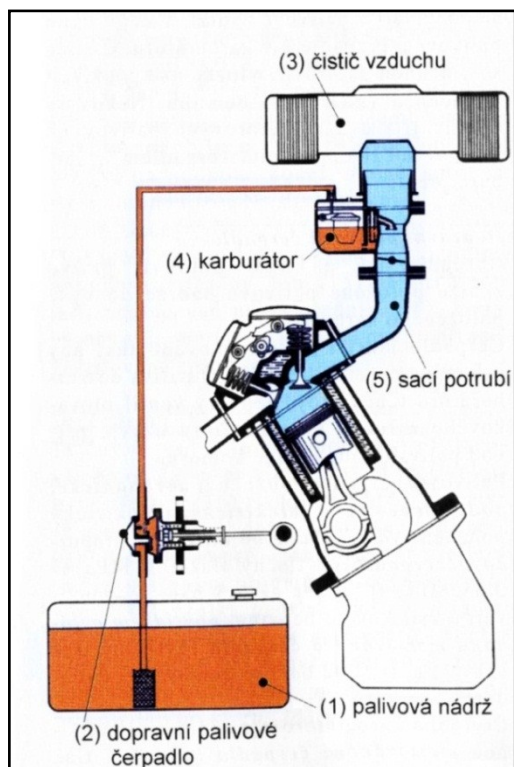
1. PALIVOVÁ SOUSTAVA ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

1.1. PALIVOVÁ SOUSTAVA S KARBURÁTOREM

ÚČEL:

- palivová soustava s karburátorem (obr. 1) musí zajistit plnění motoru vhodnou zápalnou směsí (benzín-vzduch) při jakémkoliv režimu chodu motoru.

Palivo je dopravováno z palivové nádrže přes potrubí, které je nasáváno palivovým čerpadlem do plovákové komory karburátoru. Vzduch je nasávaný motorem přes čistič vzduchu a karburátor. V karburátoru dojde ke vzniku zápalné směsi, která následně proudí sacím potrubím a sacími kanály do jednotlivých válců motoru. Dnes se tato technika v automobilovém průmyslu nevyužívá. Byla zcela nahrazena v 80. letech systémem vstřikování paliva. Důvodem byly stále větší nároky na limitní hodnoty škodlivin výfukových par motorů, a to zejména na oxid uhelnatý (CO), uhlovodík (HC) a oxid dusíku (NO_x). Tyto limity stanovují tzv. emisní normy Euro. [2] [3]



Obr. 1 – Palivová soustava s karburátorem [3]

1.2. PALIVOVÉ SOUSTAVY S VSTŘIKOVÁNÍM PALIVA

ÚČEL:

- vstříknout a rozprášit palivo,
- smísit palivo se vzduchem,
- přizpůsobit složení paliva na zatížení a otáčkám motoru.

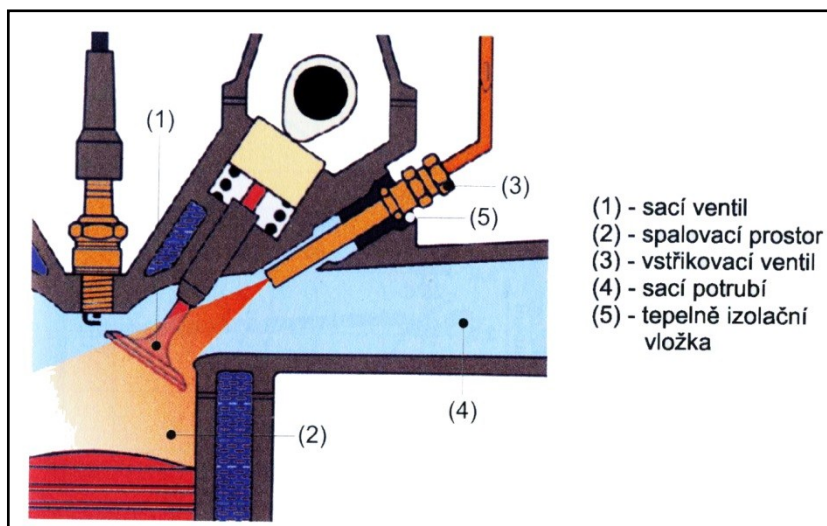
Jedná se o metodu, kdy je palivo vstřikováno pod tlakem do sacího potrubí nebo přímo do spalovacího prostoru pomocí elektronickým vstřikovačům. Tyto motory v porovnání s karburátory mají při stejném zdvihovém objemu vyšší výkon, vyšší krouticí moment, nižší emise a také menší spotřebu paliva. Tento systém vstřikování umožňuje přesnější dávkování paliva, při různých provozních podmínkách (teplota motoru, otáčky motoru apod.). [2] [3]

DALŠÍ VÝHODY OPROTI KARBURÁTORŮM:

- dokonalejší plnění válců (odpadá škrcení nasávaného vzduchu v karburátoru),
- rovnoměrnější rozdělení zápalné směsi do jednotlivých válců,
- snadnější startování studeného motoru,
- rychlejší reakce motoru na změnu polohy škrticí klapky.

NEPŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Palivo je vstřikováno do sacího potrubí, nebo do sacího kanálu (obr. 2). Palivo může být vstřikováno během sacího zdvihu pístu, kdy dojde ke smíšení se vzduchem, ale může být vstřikováno i před otevřením sacího ventilu, kdy po jeho otevření je pak nasávána již zápalná směs. Ke konečnému promísení a vytvoření zápalné směsi dochází ve válci motoru během komprese (kompresního zdvihu). Vstřikování může být mechanické nebo elektronické. [3]



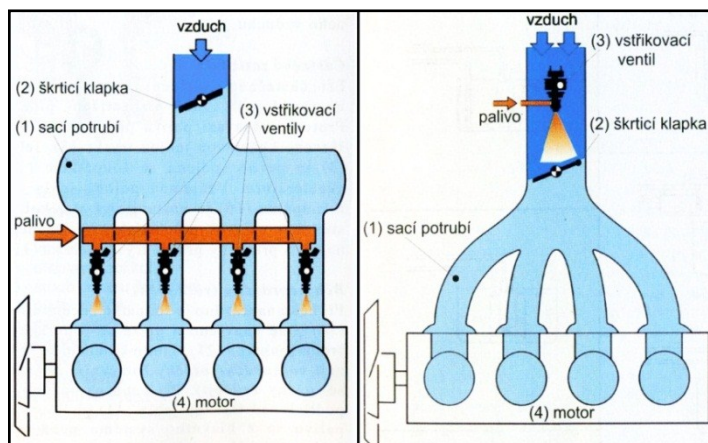
Obr. 2 – Nepřímé vstřikování [3]

JEDNOBODOVÉ VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

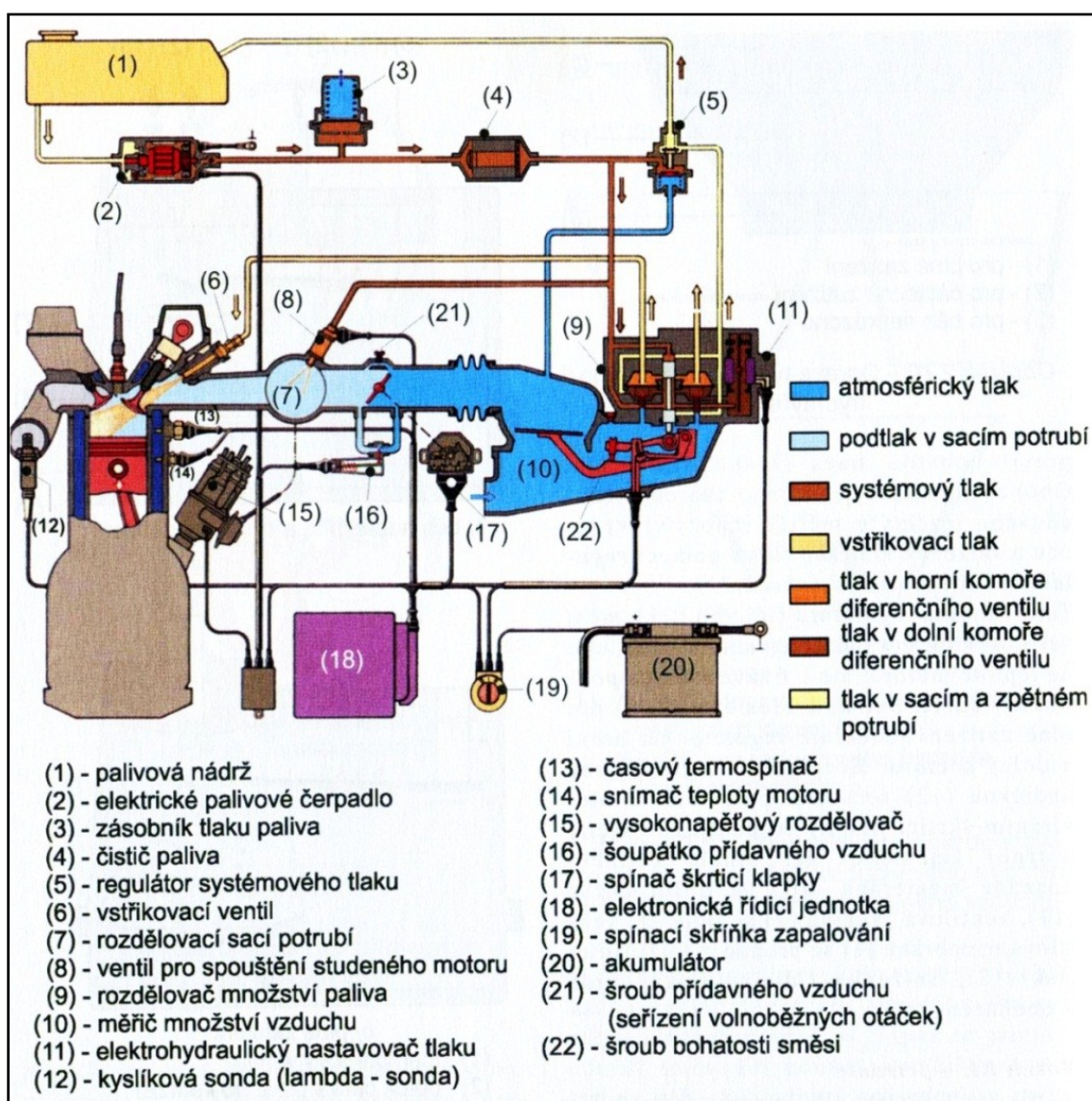
Systém je označován SPI (Single Point Injection). Zápalná směs je vstřikována přerušovaně jedním elektromagnetickým vstřikovacím ventilem, který je umístěn před škrticí klapkou (obr. 3). Tento druh vstřikování využívají systémy, které navrhla firma Bosh, Mono-Monotronic a Mono-Jetronic. Základní charakteristiku průběhu vstřiku řídí elektronická jednotka z počtu otáček motoru a úhlem natočení škrticí klapky. [3]

VÍCEBODOVÉ VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Systém je známý pod označením MPI (Multi Point Injection). Každému válci přísluší jeden nebo více vstřikovacích ventilů, které vstřikují benzín těsně před sací ventil (obr. 3). Výhodou je, že odpadá kondenzace paliva na stěnách sacího potrubí. Dávkové palivo se během sání do spalovacího prostoru rovnoměrněji smísí s nasávaným vzduchem a vytvoří se lepší zápalná směs. Firma Bosch navrhla pro tento druh vstřikování systémy K-Jetronic, KE-Jetronic (obr. 4) a L-Jetronic. U těchto systémů je hlavní charakteristika pro vstřikování počet otáček motoru a množství nasávaného vzduchu, které se měří pomocí snímačů. Palivo je buď vstřikováno přerušovaně (L-Jetronic) nebo kontinuálně (K-Jetronic, KE-Jetronic). [3]



Obr. 3 – Schéma jednobodového (vpravo) a vícebodového (vlevo) vstřikování [3]



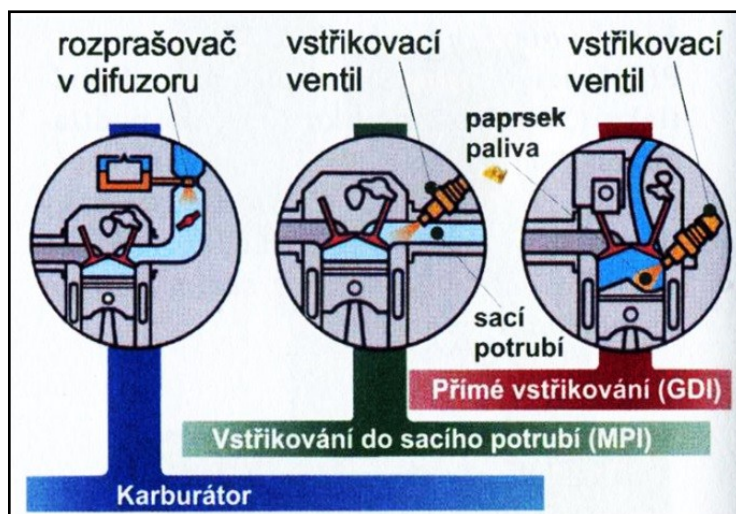
Obr. 4 – Schéma KE-Jetronik [3]

PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Základní parametry motoru jsou ovlivněny hlavně vznikem zápalné směsi a průběhem spalování. Vývoj prošel cestou od karburátoru k nepřímým vstřikováním, které se definitivně prosadilo v období 80. let. V posledních letech se stále víc prosazuje přímé vstřikování benzínu. První pokusy s tímto druhem vstřikování se provádělo na vysoce výkonných leteckých motorech.

Koncem 70. let navrhla značka Ford motor PROCO (PROgrammed COmbustion), který velice připomíná dnešní motor GDI (Gasoline Direct Injection) od automobilky Mitsubishi. Hlavním rozdílem od výše popsaných, se liší tím, že palivo je vstřikováno přímo do spalovacího prostoru, které je velice obdobné jako u vznětových motorů.

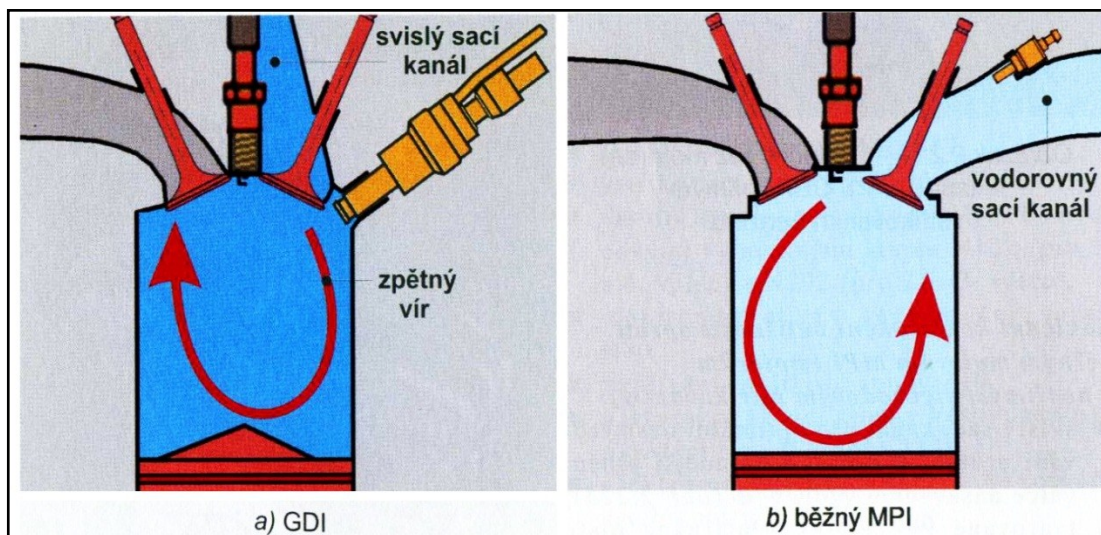
Tlak vstřikovacího paliva musí být větší, než tlak ve spalovacím prostoru při kompresním zdvihu. Proto je tento palivový systém vybaven vysokotlakovým obvodem, který zvyšuje tlak paliva až na 12 MPa, což je na rozdíl od nepřímého vstřikování, kde se tlak pohyboval kolem 0,5 MPa, značný rozdíl. [2] [3]



Obr. 5 – Základní způsoby vstřikování benzínu do spalovacího prostoru [3]

KONSTRUKČNÍ ODLIŠNOSTI OPROTI MPI:

- svislý sací kanál pro optimální nasměrování proudu vzduchu a účinnější plnění válce nasávaným vzduchem,
- konstrukce tvarového dna pístu, který umožňuje směřovat proud směsi rovnoběžně s osou válce.



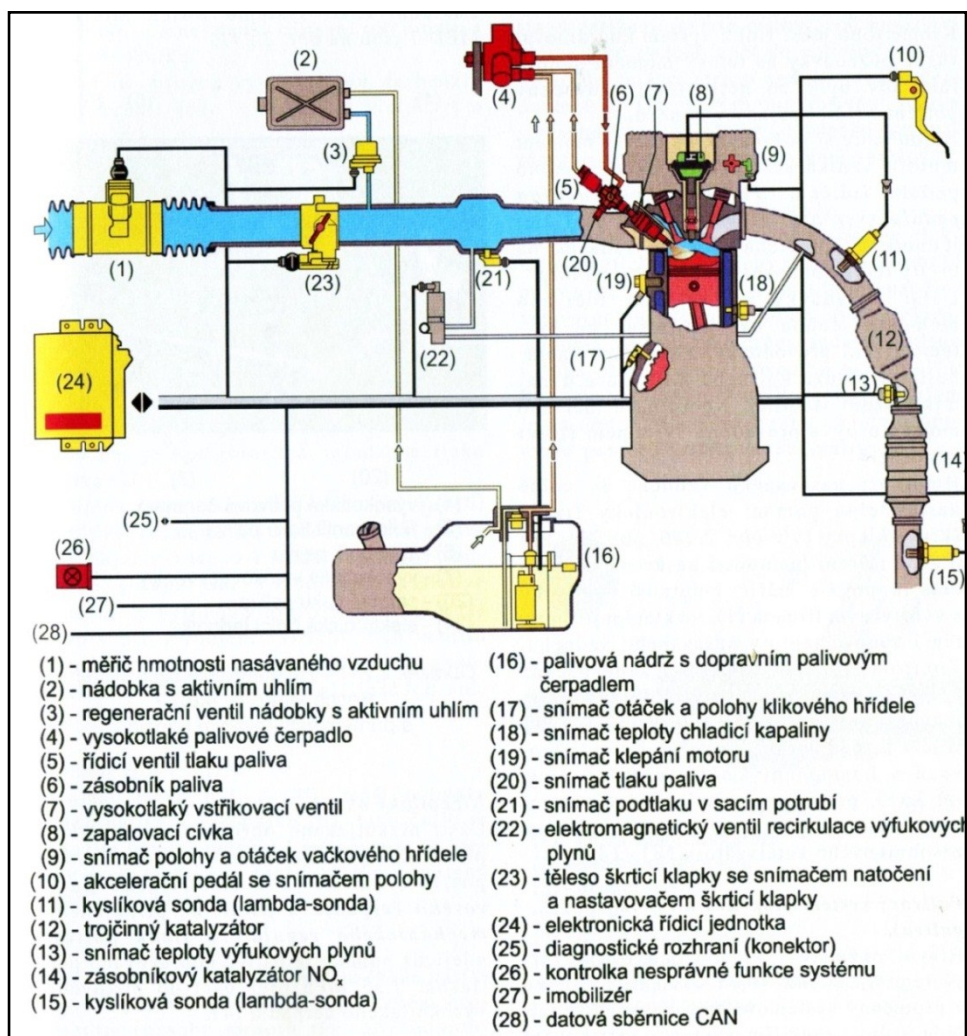
Obr. 6 – Rozdíl mezi motory GDI a MPI [3]

2. SYSTÉM PŘÍMÉHO VSTŘIKOVÁNÍ

Jak jsem popisoval výše, jedná se o vstřikování paliva přímo do spalovacího prostoru pomocí vstřikových ventilů, které jsou elektronicky řízené pro přesnější a včasnější dávkování benzínu. Firma Bosch navrhla MED-Motronic (obr. 7). [2] [3]

POŽADAVKY PRO BEZCHYBNÝ PROVOZ MOTORU:

- přesné odměření potřebného množství paliva,
- doprava paliva přímo a přesně do spalovacího prostoru motoru,
- určení potřebného vstřikovacího tlaku paliva,
- určení správného okamžiku vstřiku paliva. [2] [3]



Obr. 7 – Přímé vstřikování Motronic-MED 7 [3]

2.1. KOMPONENTY SYSTÉMU

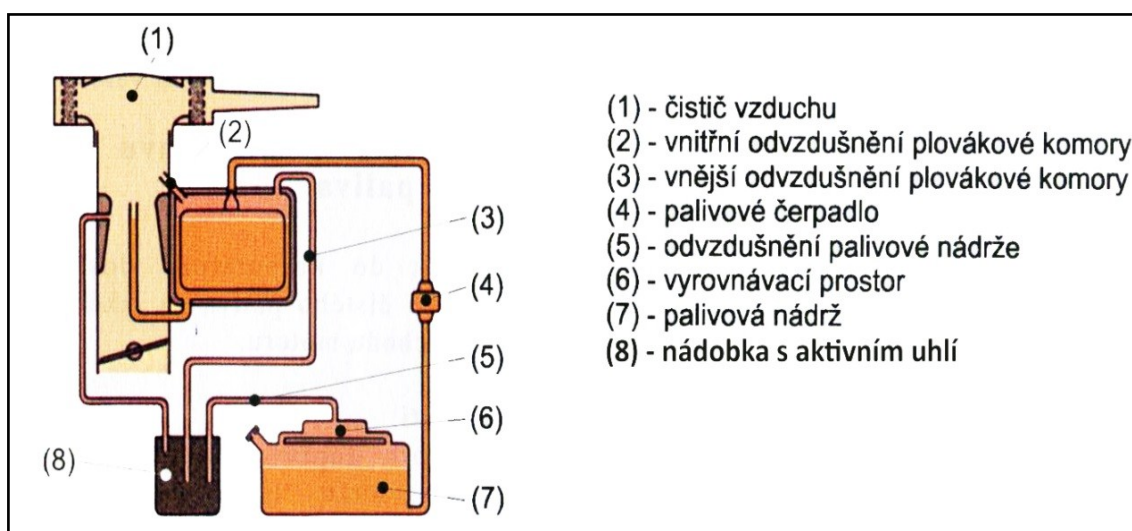
Palivová soustava obsahuje několik komponentů, které budou v této kapitole podrobněji rozebrány.

PALIVOVÁ NÁDRŽ

Palivová nádrž v posledních letech je vyráběna z plastu. Dalšími materiály na výrobu palivové nádrže může být použita hliníková slitina nebo ocel, kdy je zapotřebí, aby byly opatřeny protikorozním nátěrem, zvenku tak i zevnitř. Nádrž je obvykle rozdělena přepážkami na několik částí, aby se co nejvíce zabránilo nežádoucímu přelévání paliva.

Aby se zabránilo vzniku podtlaku paliva, při jeho odebírání, nebo vzniku přetlaku při zahřívání paliva, tak je nádrž opatřena odvzdušňovacím systémem. Plnicí hrdlo a odvzdušňovací zařízení musí být opatřeny ventily, které zabraňují úniku paliva i při velkých náklonech karoserie (např. havárie automobilu).

Z důvodu čistoty ovzduší je nežádoucí, aby odpařené palivo z nádrže unikalo do okolí. Proto se používá uzavřený palivový systém s nádobkou aktivního uhlí, které plynné uhlovodíky zachytí na svém povrchu (obr. 8). Při chodu motoru proběhne regenerace aktivního uhlí. [2] [3]



Obr. 8 – Uzavřený palivový systém s nádobkou aktivního uhlí [3]

PALIVOVÉ POTRUBÍ

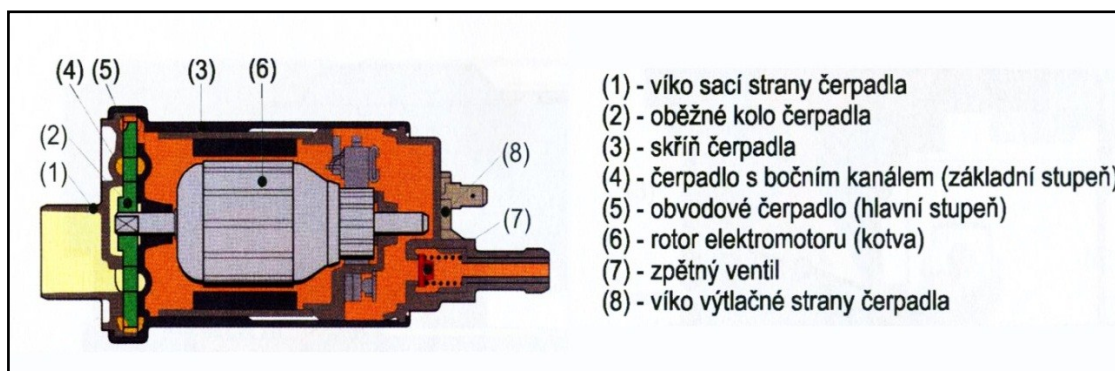
Potrubí musí být navrženo tak, aby nedošlo k jeho poškození, ani při havárii vozidla. Z důvodu tvoření parních bublin nemá být potrubí umístěno v blízkosti horkých částí motoru. Pokud to není možné, musí být části palivového systému tepelně izolovány. Palivové potrubí tvoří ocelové nebo měděné trubky, speciální pryžové hadice, nebo plastové potrubí odolné vůči benzínu. [3] [7]

DOPRAVNÍ PALIVOVÉ ČERPADLO

Hlavním úkolem tohoto komponentu je dopravit palivo z níže položené palivové nádrže do výše položeného motoru. Nejčastěji se používá membránové čerpadlo (obr. 9), které je umístěno v palivové nádrži s regulátorem tlaku paliva, který slouží k udržení požadované hodnoty tlaku paliva.

Membrána v čerpadle je přitahována elektromagnetem a díky tomu vzniká sací efekt. Aby nedocházelo k nežádoucímu zahřívání čerpadla, je nutné jej chladit. K chlazení čerpadla je využíváno samotné palivo. Čerpadlo je nezávislé na chodu motoru, protože je elektrické. Začíná pracovat ještě před samostatným startem motoru, aby při jeho nastartování již byla zajištěna doprava paliva.

Hodnota tlaku je zajištěna regulátorem tlaku, obvykle bývá okolo 0,3 MPa, ale při studeném startu motoru může být zvýšen až na 0,6 MPa a to díky zásahu řídicí jednotky. [3] [6] [7]



Obr. 9 – Dopravní palivové čerpadlo [3]

VYSOKOTLAKÉ PALIVOVÉ ČERPADLO

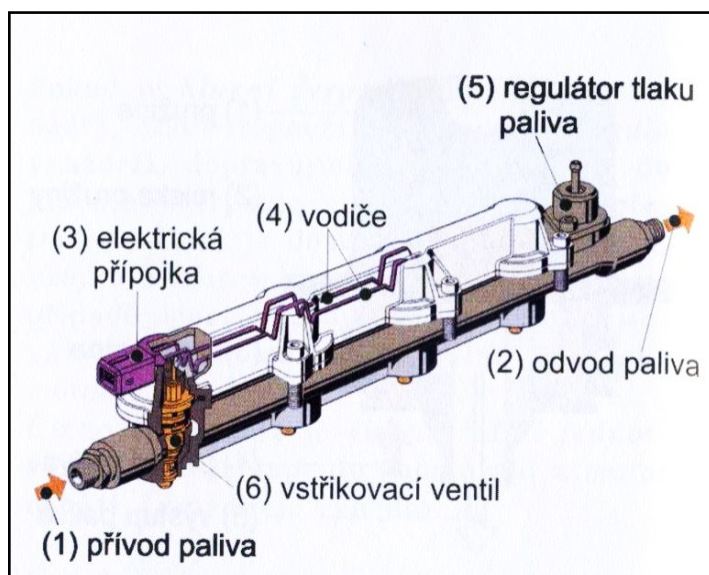
Pístové vysokotlaké palivové čerpadlo je poháněno přímo váčkovým hřídelem sacích ventilů a má za úkol zvýšit tlak paliva z 0,35 MPa na 12 MPa a dále zajistit co nejmenší kolísání tlaku paliva v zásobníku.

U systému MED-Motronic 7 se používá troj-pístové radiální čerpadlo. V podstatě se jedná o tři čerpadla uspořádaná o 120°. Z čerpadla je nakonec palivo vedeno kovovými trubicemi do rozdělovače paliva. [7]

ZÁSOBNÍK PALIVA

Zásobník paliva musí být velmi pružný, aby tlumil tlakové pulsy způsobené činností vstřikovacích ventilů, tak i vlastní pulsací proudu paliva ve vysokotlakém čerpadle. Na druhou stranu musí být natolik tuhý, aby dokázal tlak paliva dostatečně rychle přizpůsobit požadavkům motoru.

O hodnotu tlaku se stará snímač tlaku paliva. Zásobník paliva slouží jako rozdělovací palivové potrubí. Je vyroben z hliníkové slitiny a má otvory pro připojení vstřikovacích ventilů, řídicího ventilu tlaku paliva, vysokotlakého čerpadla a příslušných snímačů (obr. 10). [7] [6]



Obr. 10 – Rozdělovač paliva [3]

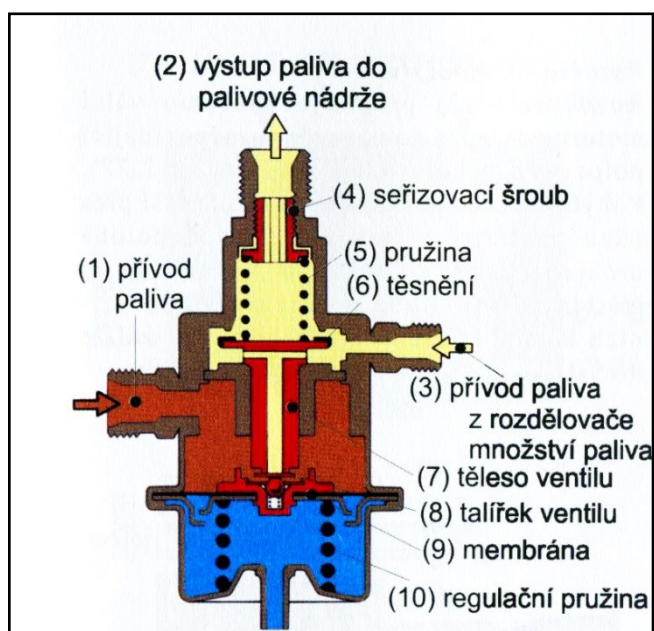
SNÍMAČ TLAKU PALIVA

Snímač tlaku paliva měří hodnotu tlaku paliva v zásobníku. Jako čidlo je použita kovová nerezová membrána, na kterou jsou umístěny měřící senzory. [2] [3]

ŘÍDÍCÍ VENTIL TLAKU PALIVA

Úkolem tohoto ventilu je nastavovat systémový tlak paliva v celém rozsahu motoru (obr. 11). Ventil je řízen z řídicí jednotky a v důsledku toho dojde k vytvoření magnetického pole v cívce, které způsobí otevření ventilu.

Tímto signálem z řídicí jednotky se mění průtok paliva ve ventilu, ale i tlak v rozdělovači paliva. Hodnota tlaku paliva závisí na provozním stavu motoru a pohybuje se mezi 5 MPa až 12 MPa. Nadbytečné množství paliva je vedeno zpět do palivové nádrže. [2] [3]

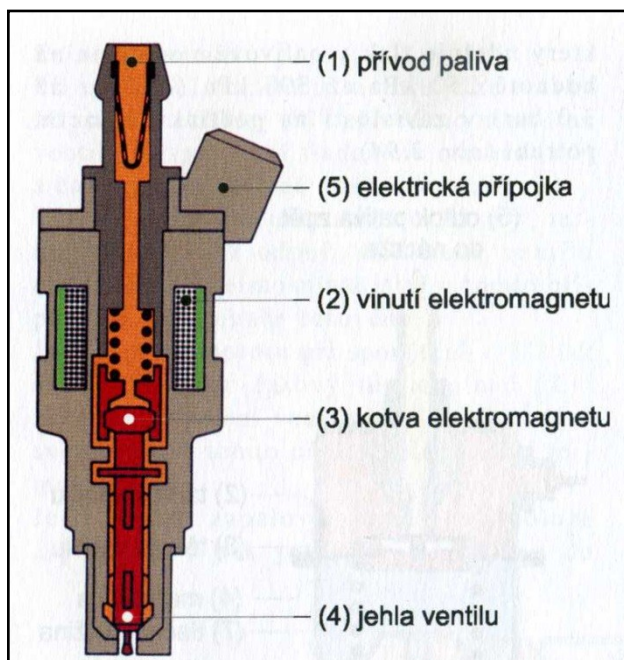


Obr. 11 – Řídicí ventil tlaku paliva [3]

VYSOKOTLAKÉ VSTŘIKOVACÍ VENTILY

Vstřikovací ventily patří mezi hlavní komponenty palivového systému (obr. 12). Slouží ke vstřikování paliva přímo do spalovacího prostoru. Vstřikovací ventily jsou řízeny elektromagneticky a napojené přímo na zásobník paliva. Pomocí řídicího napětového signálu je určen okamžik vstřiku i doba otevření vstřikovacího ventilu.

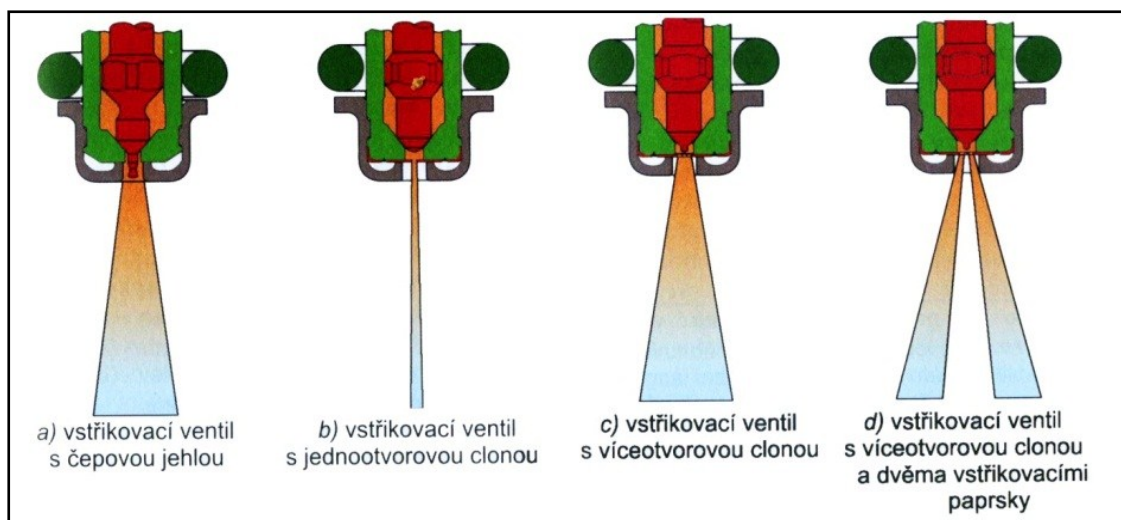
Čas, po který je vstřikovací ventil otevřen, se pohybuje podle režimu chodu motoru v milisekundách. Tvar trysky umožňuje měnit paprsek vstřikovaného paliva. Rozeznáváme několik druhů vstřikovačů, kterými jsou piezoelektrické a elektromagnetické. [2] [3]



Obr. 12 – Vysokotlaký vstřikovací ventil [3]

TVAR PAPRSKU VSTŘIKOVANÉHO PALIVA

Tvar paprsku (obr. 13) je velice důležitý pro správné rozložení paliva ve spalovacím prostoru. Aby se vyrovnal vliv proměnlivého protitlaku na tvar paprsku, tak je palivo vstřikováno do prostoru různými rychlostmi v závislosti na různých režimech plnění. [3]



Obr. 13 – Tvary paprsků vstřikovaného paliva [3]

ŘÍDICÍ SYSTÉM

Systém řízení motoru Bosch MED-Motronic je první soustava nové generace přímého vstřikování benzínu s elektronickou regulací v závislosti na točivém momentu motoru. Velké množství řídicích veličin klade v různých podmínkách vysoké nároky na vstřikovací systém, jak je popsáno výše.

Kromě toho musí řídicí systém koordinovat různé požadavky na točivý moment motoru tak, aby byly co nejrychleji provedeny potřebné řídicí zásahy v motoru. Jeden z hlavních požadavků na točivý moment motoru vzniká sešlápnutím akceleračního pedálu. Poloha akceleračního pedálu je řídicí jednotkou přečtena jako požadavek na určitý točivý moment.

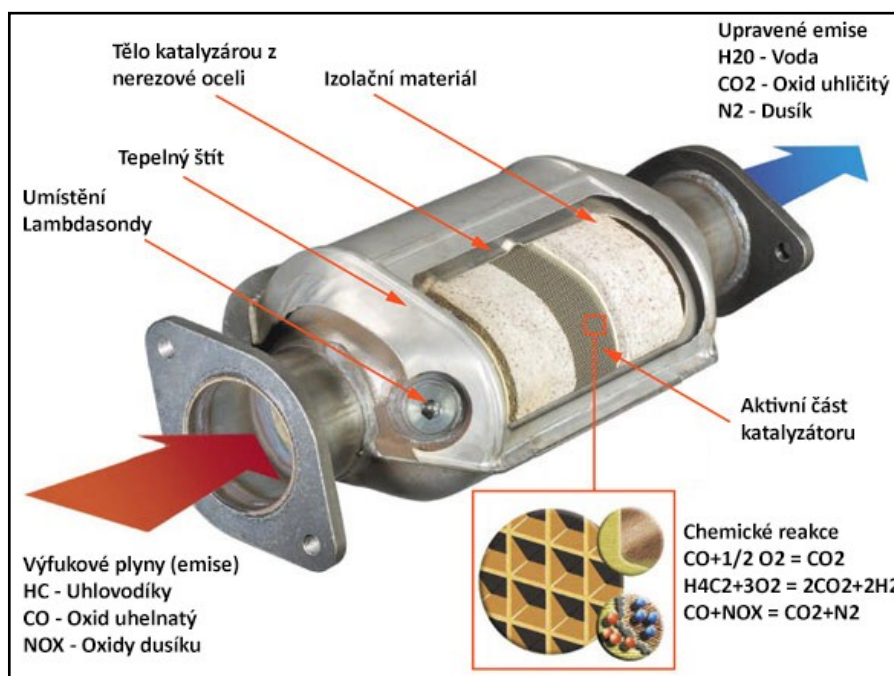
Další měřenou veličinou je hmotnost nasávaného vzduchu, která je nastavitelná pomocí elektronicky řízené škrticí klapky. Pro přesné měření hmotnosti nasávaného vzduchu je použit měřič hmotnosti vzduchu, ve kterém je dále umístěn snímač teploty nasávaného vzduchu. Pomocí kyslíkových sond, které jsou umístěné před a za katalyzátory, se kontroluje složení směsi. [3]

KATALYZÁTOR

Používá se třicestný katalyzátor (Three Way Catalyst). Tento typ katalyzátoru má za úkol likvidovat všechny tři skupiny emisí, to jsou uhlovodíky, oxid uhelnatý a oxid dusíku. V dnešní době je nejefektivnější pro úpravu výfukových plynů v benzínových motorech.

Katalyzátor (obr. 14) je naplněn keramickým nebo kovovým nosičem, který je pokrytý tenkou vrstvičkou vzácného kovu, většinou se jedná o platinu, či iridium. Katalyzátor je schopen přeměnit až 90% zplodin hoření na oxid uhličitý, dusík a vodu. Pro správnou funkci katalyzátoru je důležitá správná teplota, která se pohybuje kolem 500°C.

Problém je u studených startů motoru, kdy se používají různé metody k jeho odstranění. Jeden způsob je použití předřazeného katalyzátoru v těsné blízkosti motoru, který snižuje obsah zplodin při zahřívání katalyzátoru. Další možností je také krátkodobý ohřev výfukového potrubí a použití zahřívajících lambda sond, které poskytují řídicí jednotce zpětnou vazbu o složení plynu, která upravuje složení směsi pro lepší přeměnu plynů v tomto okamžiku. [2] [3]



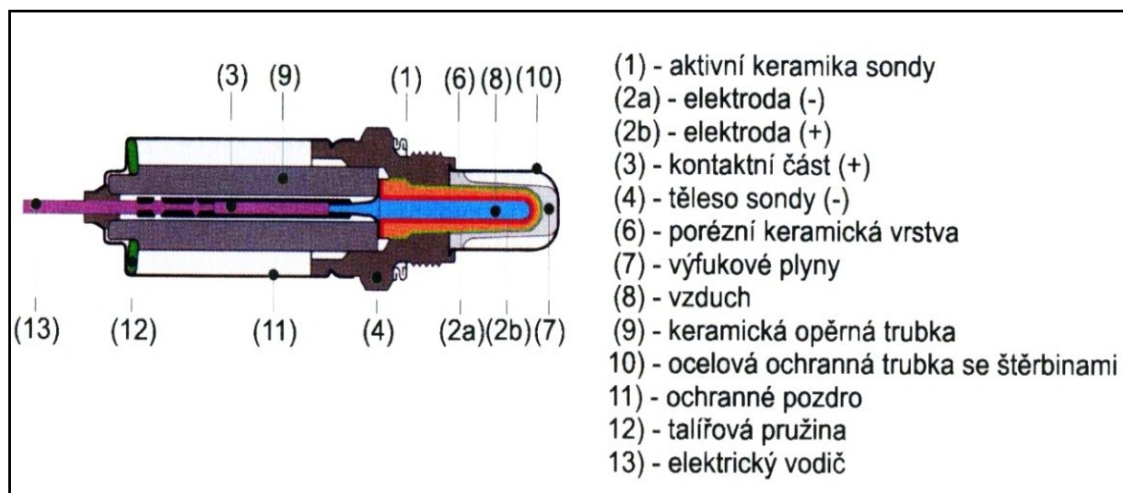
Obr. 14 – Katalyzátor [12]

LAMBDA SONDA

Lambda sondy jsou senzory koncentrace kyslíku, který je obsažený ve výfukových plynech (obr. 15). U moderních automobilů s třicestným katalyzátorem se používají dvě, z nichž jedna je umístěna před katalyzátorem a druhá za katalyzátorem. Aby lambda sonda správně fungovala, musí mít teplotu minimálně 350°C. Proto se v dnešní době používají vyhřívané sondy.

Ve špičce sondy jsou umístěny elektrody, z nichž jedna je spojena s okolním a druhá s výfukovým plynem. Díky rozdílného složení kyslíku vzniká napětí mezi elektrodami. Tato informace je odesílána řídicí jednotce, která z něho určuje hodnotu součinitele λ . Tento součinitel udává poměr mezi množstvím spotřebovaného vzduchu a množstvím potřebného vzduchu pro dokonalé spálení směsi.

Nejvýhodnější poměr je 1 (14,7:1). To znamená 14,7 kg vzduchu na 1 kg benzínu. Při chodu motoru na bohatou směs se λ může pohybovat mezi 0,7 a na chudou směs až 3,0. Tohle jsou mezní hodnoty, které udávají hranice chodu motoru. Při překročení motor není schopen pracovat. [3]



Obr. 15 – Lambda sonda [3]

3. SPALOVACÍ PROSTOR PRO VSTŘIKOVÁNÍ BENZINU

Ve spalovacím prostoru zážehového motoru s přímým vstřikováním je mezi ventily nainstalovaná zapalovací svíčka a po straně palivová vstřikovací tryska. Touto tryskou se vstřikuje benzín pod tlakem 10 MPa přímo do vybrání v pístu.

Sací kanál je opatřen speciální klapkou, která jej dělí na vrchní a spodní polovinu. Úkolem této klapky je vytváření vrstveného plnění. [2] [5]

3.1. VRSTVENÉ PLNĚNÍ PALIVA

Pro správné spalování zážehových motorů je důležitá homogenní směs paliva se vzduchem. Spalování lze zdokonalit díky přeplnění válce k cílenému rozvrstvení paliva. Tento způsob plnění je výhodný z důvodu, že v blízkosti zapalovací svíčky se nachází bohatá směs, kterou lze velmi dobře zapálit.

Hlavní průběh spalování pak probíhá v chudé směsi. Tento systém je výhodný díky velmi dobré zápalnosti směsi, i když se ve spalovacím prostoru objevuje chudá směs. Zároveň lze docílit velmi nízkých hodnot emisí, protože dochází ke spalování chudé a bohaté směsi. Rozvrstveného plnění lze dosáhnout díky přímým vstřikům paliva do spalovacího prostoru (obdobně jako u vznětových motorů).

Rozvrstvení paliva lze také dosáhnout pomocí pohybu směsi při jejím proudění do spalovacího prostoru. Vrstvené plnění znamená nízkou spotřebu paliva. Když stoupne zatížení a otáčky motoru, tak motor nejprve pracuje v režimu chudého plnění (režim vrstvené směsi). Klapka se otevře natolik, až je sací kanál volný v plném průřezu a vznikne režim s homogenní směsí. Tento režim vystačí i pro nejvyšší otáčky. U přímého vstřikování benzínu je palivo vstřikováno v průběhu sacího a kompresního zdvihu přímo do vzduchové náplně válce.

Sací kanály jsou téměř svislé, aby se docílilo správného směru proudění nasávaného vzduchu. Používají se tvarové písty, aby došlo k usměrnění vzduchu a směsi paliva. Palivo je v době sání vstřikováno vířivou tryskou v širokém kuželu

a díky tomu se zlepšuje stupeň plnění. V průběhu kompresního zdvihu tlačí tvarový píst homogenní směs paliva se vzduchem k zapalovací svíčce, kde vznikne zažehnutí. Elektronická regulace zapalování a přímé vstřikování benzínu zaručuje plynulý přechod z režimu provozu s chudou směsí na směs bohatou.

V oblasti částečného zatížení motoru, ve kterém se jezdí nejvíce, pracuje motor s velmi chudou směsí. Proto se při sání proud vzduchu uvádí do točivého pohybu. V době stlačování se tento proud vzduchu vychyluje tvarovým dnem pístu a vznikne šroubový pohyb vzduchu ve válci. Do takto rozvířeného vzduchu je ke konci doby komprese vstříknuto minimální potřebné množství paliva.

Pomocí vířivé vstřikovací trysky je palivo velmi jemně rozprášeno. Šroubový pohyb vzduchu a správně směřovaný střík paliva pomocí trysky rozprášeného paliva vytváří ve válci vrstvy s různými směšovacími poměry (vrstvené plnění). V okolí zapalovací svíčky je bohatá směs paliva se vzduchem, která je obklopena chudými vrstvami. Vnější vrstvy se mohou skládat z čistého vzduchu a nehořlavých horkých výfukových plynu.

Bohatá směs paliva se vzduchem v oblasti zapalovací svíčky se bez problému zažehne jiskrou a hořící palivo zapálí okolní chudou směs, což zaručuje stabilní a čisté spalování. [2] [5]

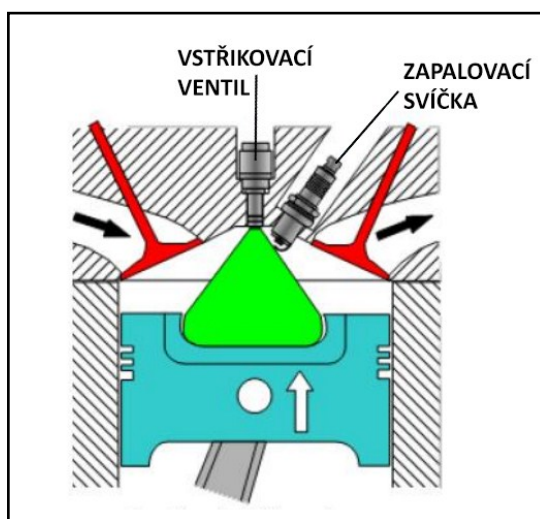
PRO PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ BENZINU SE POUŽÍVAJÍ TŘI METODY SPALOVÁNÍ:

- spalování řízené paprskem,
- spalování řízené stěnou,
- spalování řízené vzduchem.

SPALOVÁNÍ ŘÍZENÉ PAPERSEM

Palivový vstřikovač je nainstalován v horní části spalovacího prostoru. Vedle něj je umístěna zapalovací svíčka (obr. 16). Z toho plyne, že palivo je v prostoru svíčky v okamžiku vstřiku. Používají se piezoelektrické vstřikovače. Daný způsob spalování má nejvyšší hodnotu účinnosti a není tolik závislý na proudění vzduchu ve válci.

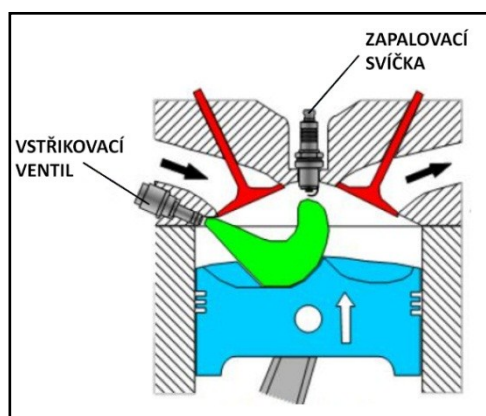
Nevýhodou je velká citlivost na rozdíly v zapalování a časování vstřiku paliva. Spalování řízené paprskem využívá automobilka Mercedes-Benz ve svých motorech CGI. [2] [3]



Obr. 16 – Spalování řízené paprskem [4]

SPALOVÁNÍ ŘÍZENÉ STĚNOU

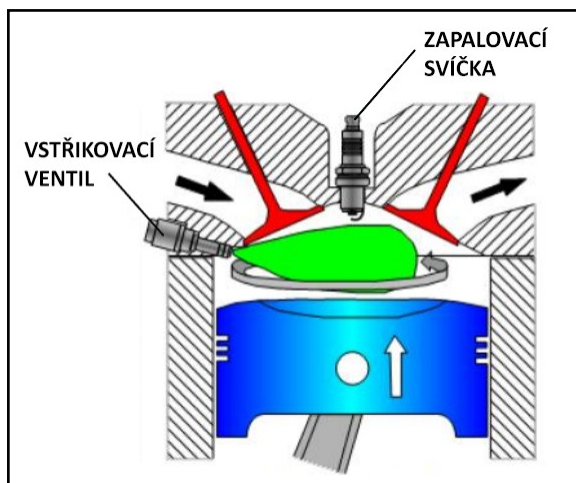
Pomocí speciálního tvaru pístu se palivo dostává do prostoru zapalovací svíčky (obr. 17). Nevýhodou této konstrukce je, že se nedokáže odpařit všechno palivo z povrchu pístu a tím dochází ke zvyšování spotřeby paliva. [3]



Obr. 17 – Spalování řízené stěnou [4]

SPALOVÁNÍ ŘÍZENÉ VZDUCHEM

Spalování řízen vzduchem umožňuje vstříknout palivo do proudu vzduchu, kdy dojde k přemístění paliva do blízkosti zapalovací svíčky (obr. 18). Rychlost a směr proudu vzduchu je ovlivněno speciálním tvarem sacího kanálu a klapkami v sacím potrubí. Automobilka Volkswagen využívá tento typ u svých motorů FSI. [3]



Obr. 18 – Spalování řízené vzduchem [4]

3.2. HOMOGENNÍ PLNĚNÍ PALIVA

Homogenní plnění paliva nastane v době, kdy motor je vysoce zatížen. Palivo je vstříkováno do spalovacího prostoru v průběhu sání vzduchu. Při kompresním zdvihu píst stlačuje homogenní směs. Pro plynulý přechod mezi oběma režimy (vrstvené plnění a homogenní plnění) se používá elektronicky řízené zapalování. [3]

4. PALIVOVÁ SOUSTAVA ZÁVODNÍCH AUTOMOBILŮ

U závodního motoru je velmi důležité využít veškerý nasátý vzduch. Proto se musí palivo se vzduchem dobře promísit, aby každá kapka paliva měla dostatek vzduchu k dokonalému spálení. Obsah kyslíku ve výfukových plynech je znamením špatného využití vzduchu.

Není-li palivo se vzduchem dobře promíseno, musí být použita bohatší směs, která je zárukou maximálního výkonu. Neshořelé palivo ve výfukových plynech však znamená větší spotřebu paliva a působí škodlivě i na lidské zdraví. Karburátor pro závodní motor musí klást minimální odpor nasátého vzduchu, musí dobře rozprašovat palivo a zajišťovat dobré přechody mezi částečným a plným zatížením.

Malý odpor vzduchu zajišťuje velký difuzér. Kritický je však přechod z volnoběhu na plný výkon. Při náhlém otevření škrticí klapky při nízkých otáčkách motoru je v difuzéru malá rychlost a palivo není dobře rozprašováno. U závodního motoru má obvykle každý válec svůj vlastní karburátor a takové pulsační nasávání klade na karburátor velké požadavky.

Je-li pro celý motor použito dvou karburátorů zapojených na jedno společné potrubí, zlepši se jejich účinnost tím, že se nejprve otevře jen jeden karburátor a teprve při vyšších otáčkách, pomoci vzniku vyššího podtlaku, otevře klapka druhého karburátoru. Seřízení takového počtu karburátorů není snadné. Proto se u závodních motorů obvykle přechází ke vstřikování benzínu. [8]

VSTŘIKOVÁNÍ BENZINU

Při vstřikování paliva jsou optimální podmínky pro vytvoření sacího potrubí. Odpadne škrcení vzduchu difuzérem a ušetří se i energie potřebná pro rozprášení paliva. Potrubí nemusí mít prudké změny průřezu, které jsou nepříznivé pro šíření tlakových vln. Každý válec dostane stejné množství paliva. Přechody a spouštění motoru jsou dobré. Odpadá vliv odstředivé síly v zatáčce na bohatost směsi, které se projevuje u karburátorů s plovákovou komorou.

To vše umožňuje zvýšení výkonu motoru. U některých závodních motorů se zkoušel přímý vstřík paliva do válců, který vyžadoval vysoký vstříkovací tlak, a trysky byly vystaveny vysoké teplotě při spalování. Ukázalo se, že stejného výkonu se dosáhne při vstříkovaní paliva do sacího potrubí a vstříkovací souprava je levnější a spolehlivější. Při přímém vstříku do válců musí být vstřík pro každý válec časován tak, aby proběhl během sacího a kompresního zdvihu.

Dnes se dává přednost umístění vstříkovací trysky hned u hrdla sacího potrubí, aby palivo bylo ve styku se vzduchem dlouhou dobu před tím, než projde ventilem. Přitom se značná část paliva odpaří a ochladí nasávaný vzduch dříve, než projde ventilem. To má příznivý vliv na plnicí účinnost. [8]

MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ VZDUCHU

Na rozdíl od vznětových motorů se u motorů zážehových musí měřit množství vzduchu. Je nutno udržovat směšovací poměr v úzkém rozsahu jeho zápalnosti svíčkou. To přináší určité problémy, protože v každé samostatné větvi musí být škrticí orgán pro vzduch.

Škrticí klapka vyžaduje velký prostor a hřídel klapky ruší průtok vzduchu, užívá se pravítkové šoupátko s otvory, společné pro celou řadu válců. Aby ovládací síla šoupátka byla malá a byl zajištěn velký podtlak ve válcích, ukládá se šoupátko na válečky nebo na kuličky. Při otevřeném šoupátku jsou otvory v potrubí úplně volné a odpadá složité seřizování škrticích klapek pro každý válec zvlášť.

Regulovat množství vstříkovaného paliva podle množství nasávaného vzduchu je možno dvojím způsobem. Buď se množství paliva odměřuje podle podtlaku v sacím potrubí, nebo je vstříkovací čerpadlo svázáno se škrticím orgánem vzduchu mechanicky. U závodních motorů se používá obojího způsobu. [8]

5. BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY

Provedení palivové soustavy, by mělo být rozumné a také podle bezpečnostního opatření, kterými jsou:

- palivová nádrž musí být odděleně od prostoru posádky,
- palivový systém by měl mít co nejméně spojů,
- musí být zajištěn odtok paliva při případném přelití (např. při havárii vozidla),
- odvzdušnění nádrže musí obsahovat kuličkový uzavírací ventil. [14]

PALIVOVÉ NÁDRŽE LZE ROZDĚLIT:

- sériová nádrž – to znamená homologovaná s vozem, pro automobily vyrobené od roku 1962, musí být vyplněna bezpečnostní pěnou, nebo obalena fólií „D- stop“,
- nádrž homologovaná s výrobcem vozu – například s jiným objemem pro automobil, nebo jiné provedení a od roku 1962 musí splňovat požadavky, viz výše,
- libovolná – vždy vyplněná pěnou nebo obalena fólií „D-stop“,
- bezpečnostní FIA – jsou odolné vůči průrazu, vyrobeny z pryže nebo plastu, jejich životnost musí být alespoň 5 let. Pokud je nádrž umístěna v ochranném boxu, musí být umožněna kontrola data výroby. [14]

ZÁSTAVBA PALIVOVÉ NÁDRŽE:

- Od roku 1962 musí být nainstalována protipožární stěna, aby došlo k oddělení posádky od palivové nádrže. Další způsoby jsou použití nepropustnou přepážkou, nehořlavou skříní. [14]

6. PRAVIDLA FORMULA SAE INTERNATIONAL

Tyto pravidla platí pro rok 2013 a jsou následující:

- je zakázáno použít plastové palivové potrubí mezi palivovou nádrží a motorem,
- nejsou schváleny hadicové spony,
- palivové potrubí musí být pevně připojeno k vozidlu nebo motoru,
- palivové potrubí musí být navrženo tak, aby nedošlo k jeho selhání nebo poškození,
- případné ohebné palivové vedení musí být zajištěno kovovým opletem hadice,
- nízkotlaký vstřikovací systém musí být funkční při tlaku nižším než 10 MPa (100 bar),
- vysokotlaký vstřikovací systém musí být funkční při tlaku vyšším než 10 MPa (100 bar),
- sací potrubí musí být bezpečně připojeno k bloku motoru nebo k hlavě válců,
- vysokotlaké palivové potrubí musí být provedeno z nerezové oceli, nebo z nerezové ocelové výztuže,
- nízkotlaké palivové potrubí musí být kovově opletené nebo gumově vyztužené (hadicové spony na opletené hadici nebudou akceptovány),
- je zakázáno použití elastomerových těsnění,
- použité paliva musí být bezolovnaté (oktanové číslo 91 až 100),
- nesmí být nic přidáno do paliva, např. oxid dusný a ani jiné oxidanty,
- palivová nádrž může být vyrobena z tuhého nebo ohebného materiálu,
- velikost palivové nádrže není omezena,
- palivová nádrž musí být chráněna před poškozením nárazem (z boční nebo zadní strany),
- palivová nádrž obsahuje plnicí hrdlo o minimálním průměru 38 mm a minimální svislé výšce 125 mm,
- při rozlití u čerpání palivových hmot, nesmí dojít ke kontaktu s řidičem, výfukovým systémem a horním dílem motoru. [1]

7. POHYB KAPALINY V NÁDRŽI

Když bude palivová nádrž naplněna částečně palivem, bude docházet při velkých změnách (zrychlení, brzdění a průjezd zatáčkou) k nežádoucímu přelévání dané kapaliny, což má negativní účinek na změnu polohy těžiště. Pohyb kapaliny v nádrži má negativní vliv na jízdní vlastnosti a bezpečnost.

VSTUPNÍ HODNOTY:

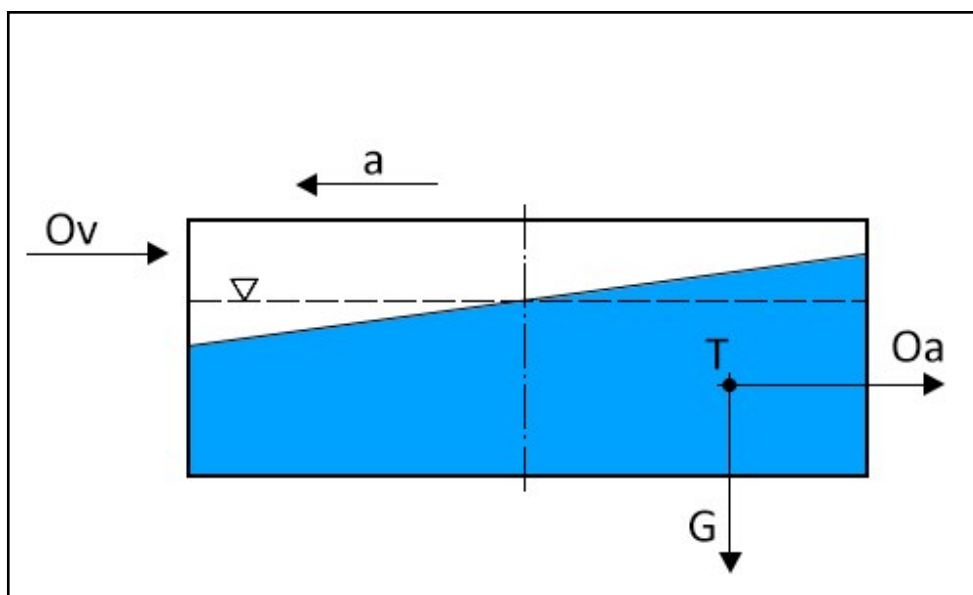
m – hmotnost vozidla, a – zrychlení vozidla, G – tíhová síla vozidla, O_v – odpor vzduchu, O_a – odpor setrvačnosti, F_o – odstředivá síla, v – rychlost vozidla, R – poloměr zatáčky.

AKCELERACE

Akceleraci chápeme jako změnu rychlosti vozidla v závislosti na čase. Jestliže jsou změny velké, může dojít k přelévání kapaliny a na vozidlo působí dynamické rázy, které ovlivňují chování vozu.

ROVNICE ZRYCHLENÍ:

$$m \cdot a = O_a + G + O_v$$



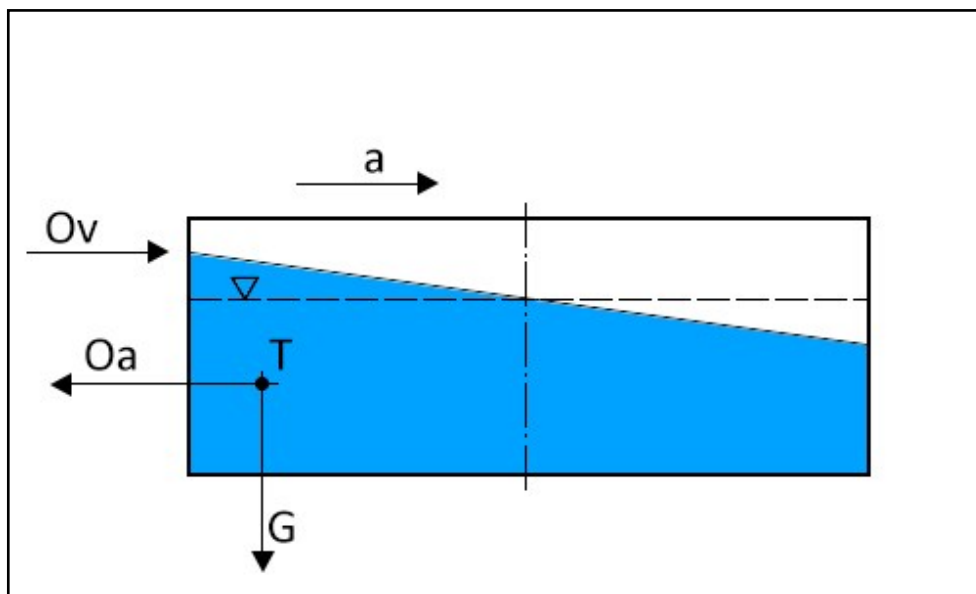
Obr. 19 – Pohyb kapaliny v nádrži při zrychlení

BRZDĚNÍ

Brzdění chápeme jako záměrné snížení rychlosti vozu. Při brzdění působí setrvačná síla v opačném směru než při akceleraci. Tato síla dosahuje větších hodnot než při akceleraci. Přelévání kapaliny je totožné jako u akceleraace, jen v opačném směru.

ROVNICE BRZDĚNÍ:

$$m \cdot a = O_a + G + O_v$$



Obr. 20 – Pohyb kapaliny v nádrži při brzdění

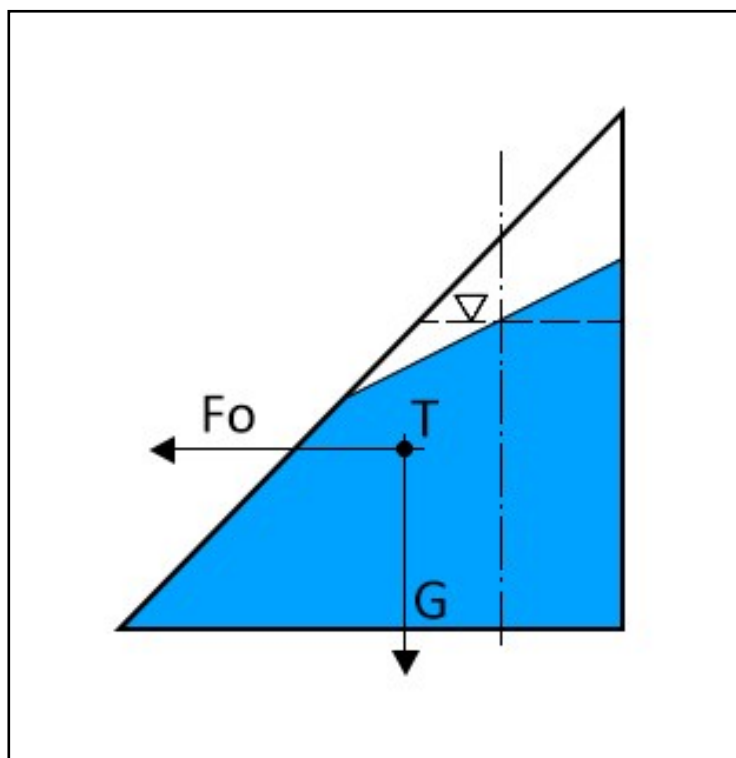
PRŮJEZD ZATÁČKOU

Když vozidlo projíždí zatáčkou konstantní rychlostí, tak začne na vozidlo působit příčné zrychlení, které působí v těžišti a narůstá z nulové hodnoty do maxima. Při výjezdu vozidla ze zatáčky příčné zrychlení naopak klesá z maxima do nulové hodnoty.

Dochází k přelévání kapaliny v nádrži, mění se poloha těžiště a to má za následek negativní změnu jízdních vlastností vozidla.

ROVNICE Odstředivé síly:

$$F_o = \frac{m \cdot v^2}{R}$$



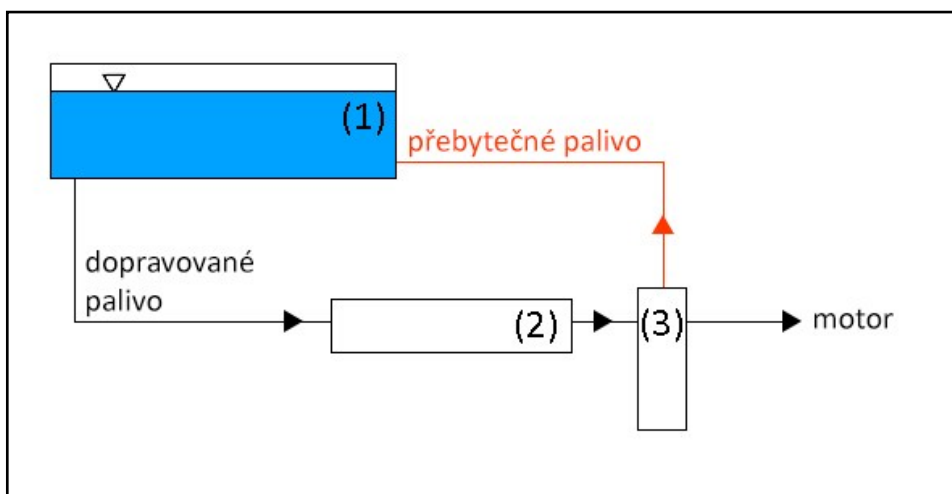
Obr. 21 – Pohyb kapaliny při průjezdu zatáčkou

8. SAMOTNÁ REALIZACE STUDENTSKÉ FORMULE

Mým úkolem bylo navrhnout palivovou soustavu v závislosti na pravidlech Formule SAE.

ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA PALIVOVÉ SOUSTAVY:

1 - palivová nádrž, 2 - palivové čerpadlo, 3 - tlakový regulátor paliva



Obr. 22 – Schéma palivové soustavy

VOLBA PALIVA

Pravidla SAE dovolují použití bezolovnatého benzínu, s minimálním oktanovým číslem 95. Volím tedy benzín OMV maxxmotion 100. Kombinace oktanového čísla 100 a dalších složek zvyšujících účinnost spalování, má přímý dopad na lepší odezvu motoru a také zrychlení.

VLASTNOSTI BENZÍNU:

- hustota $\rho = 0,75 \text{ g/cm}^3$ při 17°C ,
- dynamická viskozita $\eta = 0,53 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

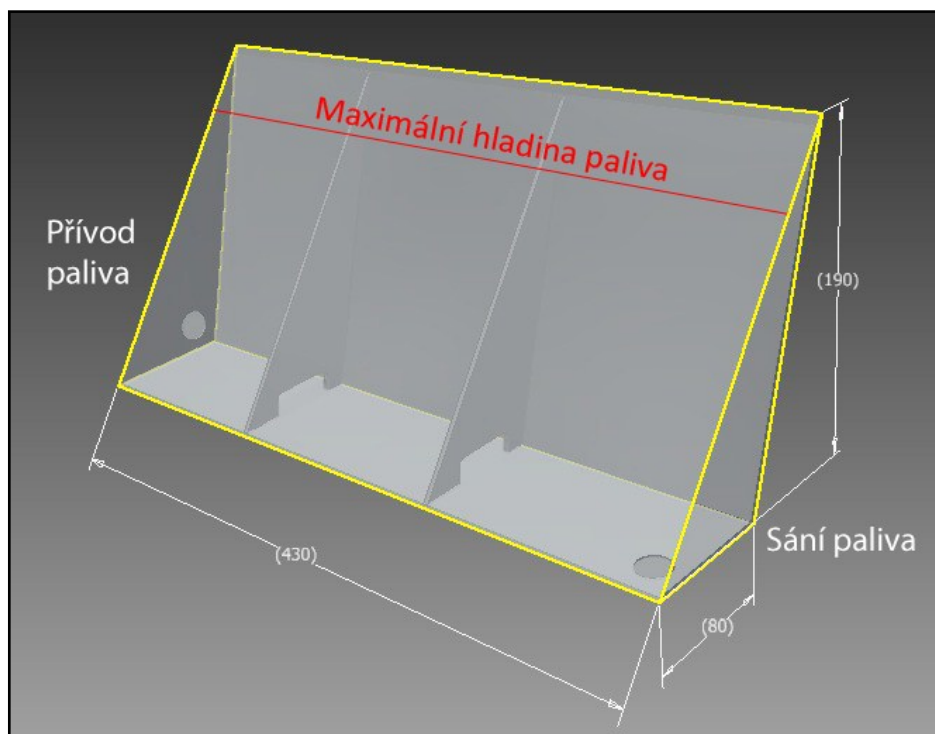
NÁVRH PALIVOVÉ NÁDRŽE

Palivová nádrž budu umístěna v zadní části formule, konkrétně mezi závodní sedačkou a motorovým prostorem. Z důvodu vhodně dostatečného prostoru, ale také bezpečnosti.

Konkurenční formule, i z jiných států, volili palivové nádrže, jejichž objem se pohyboval od 6 do 10 litrů. Rozhodl jsem zvolit 8 litrovou nádrž. Při jejím počítačovém návrhu jsem volil profil nádrže trojúhelníkový, a to z důvodu nejlepšího využití možného prostoru.

Osmi litrová nádrž nemohla být zrealizována, neboť pro ni nebyl dostatečný prostor, jaký se očekával. Hlavním důvodem bylo umístění tzv. firewallu (bezpečnostní stěna oddělující jezdce od motoru). Nezbyvalo nic jiného, než objem palivové nádrže zmenšit na polovinu, tzn. 4 litry.

Palivová nádrž bude vyrobena z hliníku, o tloušťce 1 mm. Základní rozměry jsou (430 x 80 x 190) mm (obr. 23). Bude vybavena dvěma přepážkami, aby se co nejvíce omezilo přelévání paliva při průjezdu zatáčkou.



Obr. 23 – 3D model palivové nádrže s dvěma přepážkami

VÝPOČET MAXIMÁLNÍ UJETÉ VZDÁLENOSTI

s – ujetá vzdálenost, V – velikost nádrže, K – předpokládaná spotřeba paliva na 100 km.

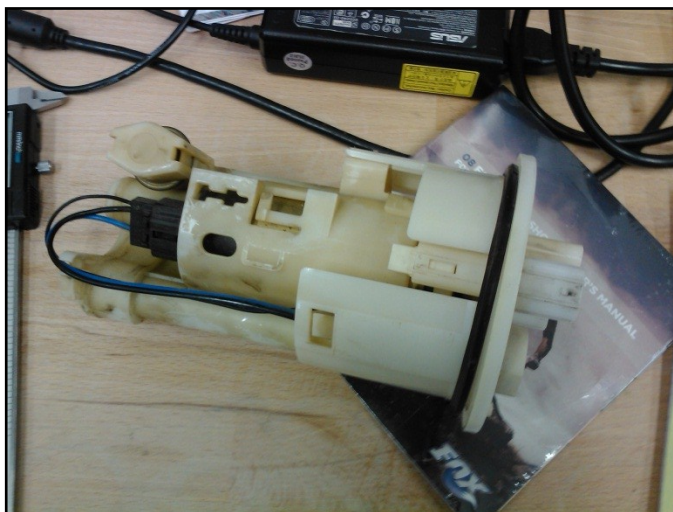
$$s = \frac{V}{K} = \frac{4 \cdot 100}{15} = 26,6 \text{ km}$$

Z výpočtu vyplynulo, že při maximálním dotankování nádrže a spotřebě 15 l/100km, formule teoreticky dojede 26,6 km. Je to dostačující, neboť vytrvalostní závod bývá dlouhý 22 km.

NÁVRH PALIVOVÉHO ČERPADLA

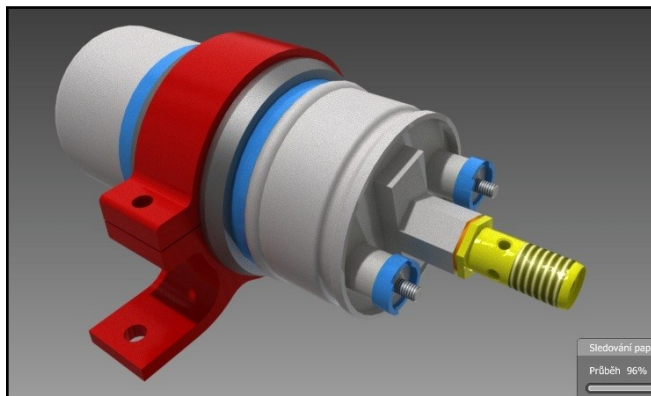
Palivové čerpadlo (obr. 24) bylo k dispozici u motoru z modelu motorky Yamaha YZF-R6. Je to originální in-tankové čerpadlo (umístěné uvnitř palivové nádrže). Jeho základní rozměry jsou (160 x 100) mm.

Bylo plánováno použití daného čerpadla, neboť původní předpoklad byla osmi litrová nádrž. Jak bylo výše uvedeno, nebylo možné zrealizovat původní variantu a muselo se přistoupit na zmenšení nádrže. Z důvodu tohoto omezení palivové čerpadlo do palivové nádrže nelze umístit.



Obr. 24 – Originální palivové čerpadlo

Navrhl jsem nové palivové čerpadlo (obr. 25), které bylo v provedení in-line (umístěné vně palivové nádrže). Hlavním kritériem při výběru nového palivového čerpadla byl systémový tlak, který činil 0,3 MPa (3 bary). Vstupní hrdlo má průměr 15 mm a výstupní hrdlo má rozměr M12x1,5 mm. Palivové čerpadlo bude připevněno pomocí držáku k rámu formule.



Obr. 25 – 3D model palivového čerpadla + držák

SPECIFIKACE PALIVOVÉHO ČERPADLA:

- napětí 12 V
- max. tlak 6 bar
- max. průtok 225 l/hod
- průtok při tlaku 3 bar je 3,25 l/min
- rozměry 200 x 60 mm
- hmotnost 1,1 kg

NÁVRH PALIVOVÉHO POTRUBÍ

Palivové potrubí podle pravidel SAE nesmí být z ohebného materiálu. Volím tedy palivové hadice s ocelovým opletem (obr. 26), vnitřním průměr 5,56 mm. Celková délka hadice 2 m.



Obr. 26 – Opletená palivová hadice [13]

Spojení palivového potrubí s komponenty palivové soustavy bude realizováno pomocí fitinek (obr. 27).



Obr. 27 – Fitinka koleno (úhel 90°) [13]

VÝPOČET RYCHLOSTI PROUDĚNÍ KAPALINY

Q – objemový průtok, S – průřez potrubí, v – rychlost kapaliny, ρ – hustota,
 ν – kinematická viskozita, η – dynamická viskozita, Re – Reynoldsovo číslo

VSTUPNÍ HODNOTY:

$$Q = 3,75 \text{ l/min} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = 5,56 \text{ mm} = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\rho = 0,75 \text{ g/cm}^3 = 750 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 0,53 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

VÝPOČET PRŮŘEZU SACÍHO POTRUBÍ:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,00556^2}{4} = 24,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

VÝPOČET RYCHLOSTI PROUDĚNÍ BENZÍNU V SACÍM POTRUBÍ:

$$Q = S \cdot v \rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{6,25 \cdot 10^{-5}}{24,3 \cdot 10^{-6}} = 2,57 \text{ m/s}$$

Z výpočtu pro rychlost proudění benzínu v sacím potrubí vyplynulo, že rychlost proudění benzínu je 2,57 m/s, daná hodnota je vyhovující.

VÝPOČET KINEMATICKÉ VISKOZITY BENZÍNU:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{0,53}{750} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

REYNOLDSOVO ČÍSLO V SACÍM POTRUBÍ:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{2,57 \cdot 5,56 \cdot 10^{-3}}{7 \cdot 10^{-4}} = 20,22 \rightarrow \text{Laminární proudění}$$

Z výpočtu Reynoldsova čísla vyšlo laminární proudění o hodnotě 20,22, což zcela vyhovuje.

VOLBA TLAKOVÉHO REGULÁTORU PALIVA

Regulátor tlaku (obr. 28) se objednal zároveň s novým palivovým čerpadlem. S tímto regulátorem je možné variabilně měnit benzinový tlak a měnit tak poměr A/F (palivo/vzduch). Elektrická benzinová pumpa obstarává palivové soustavě potřebný tlak. Hodnota nastavená na regulátoru tlaku je 0,3 MPa (3 bary). Spojení regulátoru s palivovým potrubím bude za pomoci fitinek kolen.



Obr. 28 – 3D model tlakového regulátoru paliva

ZÁVĚR

V první části jsem zpracoval rešerši současného stavu palivových soustav osobních i závodních automobilů. Nejprve jsem popsal palivovou soustavu s karburátorem a následně byla věnována pozornost palivové soustavě s nepřímým vstřikováním. Uvedl jsem jejich hlavní výhody i nevýhody. Poté jsem se podrobněji zaměřil na palivovou soustavu s přímým vstřikováním paliva, a to z důvodu, že tento systém se stává čím dál víc populárnější v automobilovém průmyslu.

V další části jsem definoval jednotlivé prvky palivové soustavy. Jejich hlavní funkce a umístění v automobilu jsou uvedeny v kapitole 2.

V poslední části jsem navrhnul palivovou soustavu v závislosti na pravidlech formule SAE. Nejdůležitějším aspektem byla palivová nádrž. V tuto chvíli není ve finální podobě, neboť se na ní neustále pracuje. Je to zapříčiněno tím, že na počátku se počítalo s větším objemem nádrže, konkrétně 8 litrů. Daný objem ovšem nemohl být zrealizován z důvodu nedostatečného místa. Problém se stále řeší a usilovně se pracuje na jejím finálním tvaru a objemu. Pouze tento prvek bude vyráběn, ostatní komponenty se koupí.

Palivové čerpadlo se navrhuje podle systémového tlaku motoru ($0,3 \text{ MPa} = 3 \text{ bary}$), proto nebylo nutné provádět jeho návrh výpočtem. Z důvodu malé nádrže, jak bylo uvedeno v kapitole 8, je v konfiguraci in-line (umístěno ven z nádrže). Dále jsem navrhl palivový regulátor tlaku opět v závislosti na systémovém tlaku motoru. Průměr vedení benzínu (hadice) byl závislý na výstupním průměru čerpadla, proto jsem zvolil hadici s ocelovým opletem o vnitřním průměru 5,56 mm. Provedl jsem kontrolu rychlosti proudění benzínu na sání, výpočet Reynoldsova čísla. Jelikož rychlost proudění je nízká, pohybují se v oblasti laminárního.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Pravidla Formule SAE. [online]. [15. 12. 2013]. Dostupné z:
<http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2013fsaerules.pdf>
- [2] FERENC B.: *Spalovací motory: karburátory a vstřikování paliv*. Computer Press: Praha, 2004. ISBN 80-251-0207-6
- [3] JAN Z.; ŽDÁNSKÝ B.: *Automobily: příslušenství (4)*. Nakladatelství Avid, spol. s.r.o., Brno, 2008. ISBN 978-80-87143-08-7
- [4] SIANO. *Fuel Injection*. India: Sciyo, 2010. ISBN 978-953-307-116-9
- [5] VLK. F.: *Vozidlové spalovací motory*. Vlastním nakladatelstvím, Brno, 2013. ISBN 80-238-8756-4
- [6] KOPÁČEK J.: *Technická diagnostika hydraulických mechanismy*. VŠB-TU Ostrava, 1990. ISBN 80-03-00308-3
- [7] BRANKO R.: *Automobil a spalovací motor: Historický vývoj*. Grada Publishing, a.s. Praha, 2012. ISBN 978-80-247-3538-2
- [8] MACKERLE J.: *Motory závodních automobilů*. Nakladatelství technické literatury. Praha, 1980
- [9] MATĚJKA, R. *Vozidla silniční dopravy I*. 2. vydání. Bratislava: Alfa, 1990. 224 s. ISBN 80-05-00392-7.
- [10] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vydání. Brno: VLK, 2003. 432 s. ISBN 80-293-0024-2.
- [11] DRÁBKOVÁ, S. *Mechanika tekutin* [online]. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. 257 s. ISBN 978-80-248-1508-4 [vid. 15.12.2013]. Dostupné z:
<http://www.338.vsb.cz/studium9.htm>
- [12] JANCO, Marcel. *Autorubik*. [online]. 29. leden 2011. [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/technika/na-co-sluzi-a-ako-funguje-katalyzator>
- [13] *Highperformanceparts*. [online]. 2005-2014. 6.5.2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.highperformanceparts.cz/>

- [14] *Prohistoric: Informace pro stavbu historických závodních vozidel*. [online].
2011-2014. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z:
<http://www.prohistoric.cz/index.php/bezpecnostnadrz>